

Cold Vents - die kalten Quellen der Tiefseeegräben

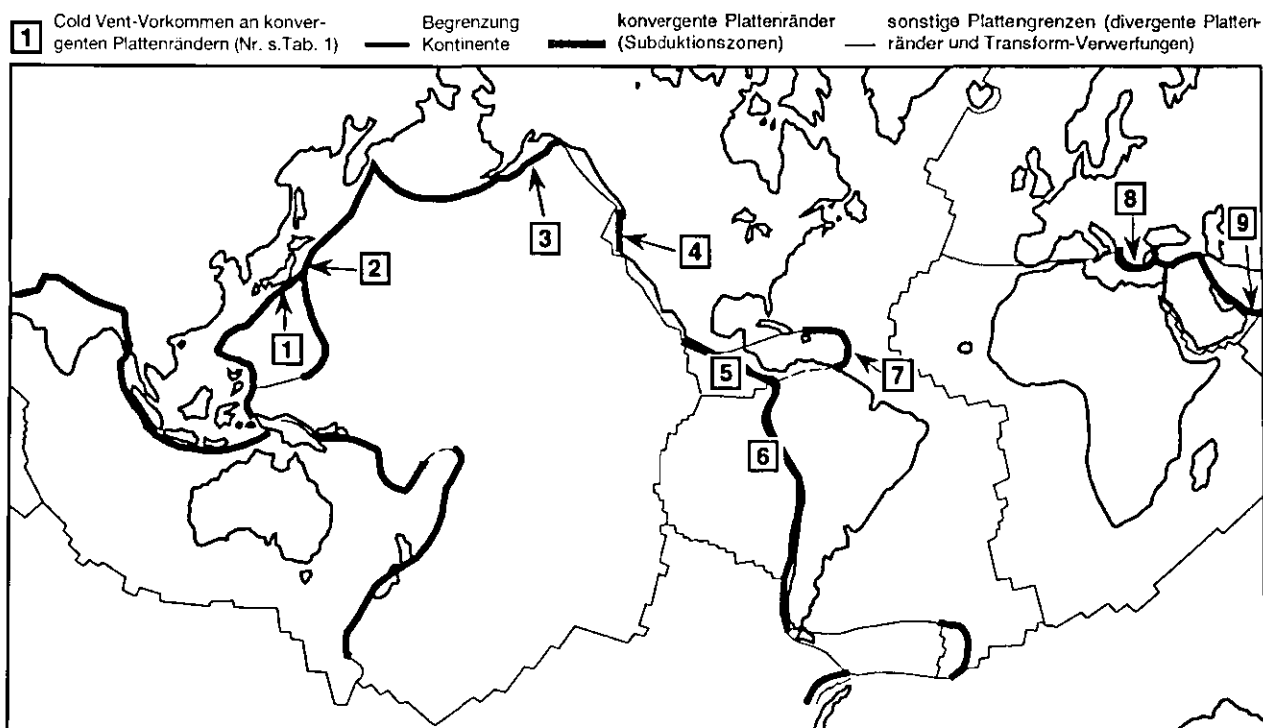
G. Bohrmann und E. Suess

Im Zuge der Klimadiskussionen ist der **Ozean** mit seinen Stoffumsätzen in den letzten beiden Jahrzehnten ins Zentrum der Betrachtung unserer globalen Ökosysteme gerückt. Dabei ist das Verständnis der Kreislaufprozesse innerhalb des Ozeans sowie der Austauschprozesse mit seiner Umgebung von großem Interesse. Ein intensiver **Stoffaustausch** des Ozeans findet in seinen Randbereichen mit dem Land, der Atmosphäre und seinem Boden statt.

Am Meeresboden haben besonders die Ränder der **Lithosphärenplatten** einen intensiven Stoffaustausch mit dem Meerwasser. Die Grenzen der Platten, sowohl ihre Entstehungs- als auch ihre Verschluckungszonen, sind vorwiegend in den Ozeanen zu finden (Abb. 1). Die Plattentektonik zerlegt die Erdoberfläche in sieben große und eine Vielzahl von kleineren Platten. Unabhängig von ihrer Größe und ihrem Aufbau ist allen Platten gemeinsam, daß sie sehr mobile und dynamisch aktive Ränder besitzen, deren Stoffaustauschprozesse von globalem Ausmaß sind. Drei Typen von Plattenrändern werden unterschieden: **Divergente Plattengrenzen** sind die Mittellinien der ozeanischen Rücken, an denen durch ozeanische Spreizung (Sea-Floor Spreading) neue ozeanische Kruste entsteht. **Konvergente Plattenränder** sind durch das Abtauchen einer Lithosphärenplatte unter eine andere gekennzeichnet und werden als Subduktionszonen bezeichnet. Bewegen sich zwei Platten durch Horizontalbewegung aneinander vorbei, spricht man von **Transform-Verwerfungen**, an denen Erdkruste weder gebildet noch verschluckt wird.

Die Relativbewegungen der Platten finden in der Größenordnung von weniger als 1 cm bis ca. 10 cm pro Jahr statt, wobei es vor allem an den divergenten und konvergenten Plattengrenzen zu einer Vielzahl von geologisch bedeutenden Prozessen, wie Erdbeben-tätigkeit, Magmenbildung und anderen großskaligen Stoffumsätzen kommt. So findet an den mittelozeanischen Rücken (oder Riftzonen) durch die Wärmeentwicklung des Sea-Floor Spreading angetrieben ein Stofftransport in die Wassersäule statt, deren Ausdruck in einer Vielzahl von Erscheinungen wiederzufinden ist, die unter dem Begriff der heißen Quellen (**Hot Vents**) zusammengefaßt werden. Hot Vents wurden mit dem amerikanischen Tiefseetauchboot „Alvin“ 1977 erstmals entdeckt (CORLISS et al., 1979). Hot Vent-Gebiete zeichnen sich durch eine dichte Besiedlung mit speziell angepaßten Benthos-vergesellschaftungen, einer chemoautotrophen Lebensweise von vorwiegend Mollusken und Würmern mit Bakterien, inmitten des sonst wenig besiedelten Tiefseebodens (JUNIPER & SIBUET, 1987) aus. Weitere Manifestationen der hydrothermalen Zirkulation sind die aus Sulfiden, Baryt, Anhydrit usw. bestehenden anorganischen Präzipitate der Hot Vents. Die Bedeutung für den ozeanischen Stoffhaushalt ist

Abb. 1: Schematische Darstellung der Plattengrenzen der Erde. Konvergente Plattengrenzen sind mit dicker Linie eingezeichnet. Die nummerierten Lokalitäten markieren die bisher beschriebenen Cold Vent-Funde in Subduktionszonen (siehe auch Tab. 1).



Untersuchungsgebiet	Nummer (in Abb. 1)	Manifestation der Cold Vents	Literatur
Nankai-/Japan- und Kurilen-Subduktionszone (südöstlich Japan)	1 und 2	Vent-Organismen Authigene Karbonate	SIBUET et al. (1988) SAKAI et al. (1992) LE PICHON et al. (1992)
Aleuten-Graben (Alaska)	3	Vent-Organismen Karbonat- und Baryt-Präzipitate	SUESS (1994) SUESS & BOHRMANN (in Druck)
Cascadia-Subduktionszone (Kontinentalrand vor Oregon, USA)	4	Vent-Organismen Authigene Karbonate	SUESS et al. (1985) KULM et al. (1986) KULM & SUESS (1990)
Costa Rica-Rinne	5	Muddiapire	McADOO et al. (1996)
Peru-Subduktionszone (unterer Kontinentalhang vor Peru)	6	Vent-Organismen Baryt-Präzipitate	BOURGOIS et al. (1993) TORRES et al. (in Druck)
Barbados-Akkretionskeil (zentraler Atlantik/Karibik)	7	Muddiapire Vent-Organismen Karbonate-Präzipitate	BROWN & WESTBROOK (1988) LE PICHON et al. (1990) HENRY et. al., (1996)
Mittelmeer-Akkretionskom- plex (südlich. Griechenland)	8	Muddiapire	CAMERLENGHI et al. (1992) CITA et al. (1995)
Makran-Akkretionskeil (Arabisches Meer/südlich. Pakistan)	9	Authigene Karbonate Pockmark-Strukturen	VON RAD et al. (in Druck)

enorm, wenn man sich vor Augen führt, daß ca. alle sechs Millionen Jahre der gesamte Wasservorrat des Ozeans einmal durch die Hot Vents der ozeanischen Spreizungszonen gepumpt wird.

Im Jahre 1984 wurden ebenfalls mit Tauchbooten aktive Fluidaustrittsstellen am Meeresboden im Bereich der Subduktionszonen beobachtet. Die erste Entdeckung gelang mit dem Tauchboot „Alvin“ entlang der Cascadia-Subduktionszone, die ebenfalls durch dicht besiedelte Organismen mit chemosynthetischer Ernährungsweise gekennzeichnet war (SUESS et al., 1985; KULM et al., 1986). Die zweite Entdeckung erfolgte ein Jahr später mit dem französischen Tauchboot „Nautile“ in den Tiefseegräben vor Japan. Diese Fluidaustritte sind im Gegensatz zu den Hot Vents an einen konvergenten Plattenrand gebunden, und da die austretenden Wässer keine erhöhten Temperaturen zeigen, werden sie als **Cold Vents** bezeichnet. Während die Hot Vents der Mittelozeanischen Spreizungszonen vielfach beachtet werden, ist die Kenntnis über die Cold Vents ungleich weniger detailliert und verbreitet. Obwohl die Erforschung solcher Phänomene in der Tiefsee technisch aufgrund der Verfügbarkeit von Tiefseetauchbooten und Robotersystemen (sogenannten ROVs = Remotely Operated Vehicles) nur wenigen Wissenschaftlergruppen möglich ist, wurden bis heute in vielen Subduktionszonen Cold Vent-Phänomene gefunden. Es kann mit Sicherheit davon ausgegangen werden, daß alle konvergenten Ränder im globalen Plattengefüge Cold Vents aufweisen. Die Weltkarte in Abb. 1 zeigt die bis heute beschriebenen Vorkommen (Tab. 1).

Tabelle 1: Bisher bekannte Cold Vent-Vorkommen in Subduktionszonen.

Die Erscheinungen der Cold Vents sind mit Fluidaustrittsstellen an passiven Kontinentalrändern wie z.B. im Golf von Mexiko (ROBERTS & AHARON, 1994) und mit **Cold Seeps** aus dem Flachwasser zu vergleichen. Auch dort treten Fluide, meist kanalisiert, an tektonischen Schwächezonen auf und werden in der Regel von Kohlenwasserstofflagerstätten oder auch Grundwasserleitern aus dem Untergrund gespeist. Das Vorkommen, die Dynamik und die Stofftransporte der Cold Vents an den Subduktionszonen wird allerdings letztendlich durch den tektonischen Prozeß der Subduktion gesteuert. Im Falle einer Ozean/Kontinent-Kollision kommt es meist zu einem Aufbau eines **Akkretionskeiles**. Dabei werden die Sedimente in Falten gelegt, gestapelt und an die Oberplatte angeschweißt, die von der Unterplatte herantransportiert und an der Stoßkante des Konvergenzbereiches abgesichert werden. Durch den tektonischen Druck der konvergierenden Platten wird der mit Gasen und Fluiden gefüllte Porenraum der Sedimente zusammengedrückt und der Inhalt ausgequetscht. Dies findet meist als kanalisierter Transport von Fluiden statt und ist überwiegend an die tektonischen Entwässerungsbahnen im Akkretionskeil gebunden (MOORE & VROLIJK, 1992). Die Reliefbildung des Akkretionskeils am Meeresboden durch tektonische Stapelung führt zu einer erheblichen Sedimentumverteilung durch gravitativen Hangabtransport, wodurch ein Großteil der



Abb. 2: Authigene Karbonate bedecken den Meeresboden am nördlichen Rücken des zweiten Akkretionskeils in der Cascadia-Subduktionszone. Aufnahme des Fotoschlittens „Explos“ bei der Expedition 110 mit FS „Sonne“, 1996.

nicht subduzierten Sedimente recycled wird. Wichtiger für den Chemismus des Ozeans ist der Austritt von Fluiden und Gasen an den Cold Vents. Obwohl einzelne Messungen von Ausstromraten bereits vorliegen, sind quantitative Hochrechnungen auf den Gesamtozean bisher noch schwierig (LINKE et al., 1995) und beruhen auf geophysikalischen Methoden, die eine Abnahme des Porenraums zu Hilfe nehmen.

Die Fluidzirkulation der **Cascadia-Subduktionszone** (Nummer 4 in Abb. 1) ist, wie die meisten bisher untersuchten Akkretionsrücken, durch eine weit verbreitete und intensive Karbonatzementation der terrigenen Sedimente gekennzeichnet, wobei Isotopenmessungen belegen, daß der Kohlenstoff der Karbonate hauptsächlich aus einer Methanquelle stammt. Neueste Untersuchungen vor Oregon belegen auch den Einfluß von Methanclathraten bei der Bildung der authigenen Karbonate (SUESS & BOHRMANN, in Druck). Der kontinuierliche Vorgang der Hebung der

Abb. 3: Die im Meeresmuseum Stralsund ausgestellte Kolonie von *Lamellibrachia barhami* kurz nach ihrer Bergung mit dem amerikanischen Tiefseetauchboot „Alvin“ im August 1984 mit authigenem Karbonatgestein aus dem Bereich der Cold Vents vor Oregon.



Abb. 4: Meeresboden mit Baryt zementiert und mit randlich vorkommenden Ventorganismen in 3.400 m Wassertiefe am Kontinentalrand vor Peru.

Akkretionsrücken während der Subduktion führt oft dazu, daß es am Kamm der Rücken zu einer Erosion kommt. Hierbei wird unverfestigtes Sediment wegtransportiert, so daß die durch den Vorgang des Venting gebildeten Karbonate als resistente Gesteine zurückbleiben. So ist vor allem die nördliche kuppelartige Kammregion des zweiten Akkretionsrückens vor Oregon mit an der Oberfläche anstehenden Karbonaten bedeckt (Abb. 2). Fluidaustritte sind dort durch chemoautotrophe Lebensgemeinschaften gekennzeichnet, von denen die Muscheln, *Calyptogena* sp. und *Solemya* sp., sowie die Röhrenbüschel der Bartwürmer von *Lamellibrachia barhami* (Abb. 3) die auffälligsten sind (SUESS et al., 1985).

Der aktive **Kontinentalrand vor Peru** (Nummer 6 in Abb. 1) stellt eine besondere Variante der konvergen-ten Plattengrenzen und ihrer Stofftransportvorgänge dar. Hier stehen tektonische Erosion anstatt Akkretion und Stapelung im Vordergrund (BOURGOIS et al.,

Abb. 5: Barytkruste mit Serpelnröhren aus einem Cold Vent-Gebiet vor Peru.





Abb. 6: Aktive Fluidaustrittsstelle des ersten Akkretionsrückens im Aleutengraben südwestlich der Insel Kodiak mit dichter Besiedlung von Ventmuscheln (*Calyptogena phaseoliformis*).



Abb. 7: Nahaufnahme des Tiefseeroboters „Ropos“ während der „Sonne“-110-Expedition; sie zeigt die mit Anemonen besiedelten Ventmuscheln der Abb. 6 in 4.950 m Wassertiefe.

1993). Die Stoßkante der kontinentalen Oberplatte reicht weit in den Kontinentalrand und den angrenzenden Tiefseegraben hinaus und wird an ihrer unteren Fläche erodiert. Die herangeführte ozeanische Nazca-Platte trägt eine relativ dünne Sedimentbedeckung; auch ist die Sedimentzufuhr aus den angrenzenden Anden eher unbedeutend. Beide Faktoren tragen dazu bei, daß die Bildung von Akkretionskeilen eine untergeordnete Rolle spielt. Demgegenüber stehen großskalige Rutschungen und Absenkungen im Vordergrund. Diese legen Entwässerungssysteme frei, die vielfach ihren Ursprung in der kontinentalen Platte haben bzw. an Diskordanzen zwischen der kontinentalen Platte und dem daraufliegenden Sedimentpaket auftreten. Hierdurch entstehen ebenfalls Cold Vents, wie entlang der übrigen konvergenten Ränder. Speziell vor Peru wurden auch Serpuliden als Bestandteil der chemosynthetischen Vergesellschaftungen beschrieben (OLU et al., 1996) wie auch calyptogene Muscheln, die an Austritten flüssiger Kohlenwasserstoffe in mehr als 3.500 m Wassertiefe leben (SUESS, 1992). Eine weitere Besonderheit der Cold Vents vor Peru sind die hohen Anteile von Barium in den austretenden Ventwässern. Barium wird in dem hochproduktiven Meeresgebiet vor Peru in Form von biogenen Barytpartikeln eingetragen und im Sediment unter den Bedingungen intensiver Sulfatreduktion wieder gelöst. Das gelöste Barium wird mit den aufsteigenden und am Meeresboden austretenden Ventwässern transportiert, und in Reaktion mit dem hohen Sulfatgehalt des Meerwassers kommt es am Meeresboden zu einer großflächigen Barytzementation der Ventgebiete (TORRES et al., in Druck; Abb. 4 und 5).

Ein anderes Endglied der konvergenten Plattenränder mit bedeutenden Cold Vents ist der **Aleuten-Graben** (Nummer 3 in Abb. 1) mit seinem angrenzenden Kontinentalrand zwischen Alaska und dem Aleuten-Inselbogen. Hier dominiert der Sedimenteintrag, besonders im östlichen Teil, und damit die Akkretion und Stapelung von Sedimentpaketen. Geophysikalisch konnten bis zu sechs Generationen von Akkretions-

rücken unterschieden werden. Ausgedehnte Beobachtungen am Meeressboden von Bord des Forschungsschiffes „Sonne“, (Expeditionen SO97, 1994 und SO110, 1996) mit dem Fotoschlitten „Explos“ und dem kanadischen Roboter „Ropos“ zeigten, daß Cold Vents nur an den seewärtigen Flanken der ersten akkretionären Falten- bzw. Überschiebungsstrukturen auftreten (SUESS, 1994; SUESS & BOHRMANN, in Druck). Die aktiven Fluidaustrittsstellen werden im wesentlichen durch dichte Ansammlungen von *Calyptogena phaseoliformis* (Abb. 6) gekennzeichnet, die endosymbiotische Bakterien in ihren Kiemen beherbergen. Sie sind etwa zur Hälfte im Sediment eingegraben und an ihrem ins Bodenwasser ragenden Ende mit aufsitzenden Anthozoen besiedelt (Abb. 7). Neben häufig anzutreffenden Bartwürmern ist im Aleutengraben auch die Ventmuschel *Solemya* sp. vertreten. Aufgrund der großen Wassertiefe zwischen 4.500 und 5.300 m deutlich unterhalb der Calcitkompensationstiefe werden die karbonatischen Muschelschalen der Cold Vents im Aleutengraben sehr schnell nach dem Absterben der Muscheln aufgelöst. Diese Karbonatlösung ist auch der Grund dafür, daß die authigenen Karbonate, welche durch Venting im Sediment gebildet werden, an der Meeresoberfläche nicht überlieferbar sind, wie etwa vor Oregon, wo die mit Karbonat bedeckten Sedimentoberflächen häufig auch fossiles Venting belegen.

Dank

Wir danken allen Mitarbeitern der Abteilung Marine Umweltgeologie des GEOMAR Forschungszentrums, ohne deren engagierte Mitarbeit die Untersuchungen an den Cold Vents nicht möglich sind. Weiterhin danken wir der Reedereigemeinschaft Forschungsschiffahrt GmbH und ihren Mitarbeitern.

Das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) fördert im Rahmen mehrerer Projekte unsere Untersuchungen in Subduktionszonen.

- BOURGOIS, J., Y. LAGABRIELLE, P. DE WEVER, E. SUESS and NAUTIPERC Team (1993): Tectonic history of a non-accreting active margin during the past 400 ka. *Geology*, 21: 531 - 534.
- BROWN, K. & G. K. WESTBROOK, (1988): Mud diapirism and subcretion in the Barbados Ridge Accretionary Complex. *Tectonics*, 7: 613 - 640.
- CAMERLENGHI, A., M. B. CITA, W. HIEKE and T. RICCHIUTO (1992): Geological evidence for mud diapirism on the Mediterranean Ridge accretionary complex. *Earth and Planetary Science Letters*, 109: 493 - 504.
- CITA, M. B., J. M. WOODSIDE, M. K. IVANOV, R. B. KIDD, A. F. LIMONOV et al. (1995): Fluid venting from a mud volcano in the Mediterranean Ridge diapiric belt. *Terra Nova*, 7: 453 - 458.
- CORLISS, J. B., J. DYMOND, L. I. GORDON et al. (1979): Submarine thermal springs of the Galapagos Rift. *Science*, 203: 1073 - 1083.
- HENRY, P., X. LE PICHON, S. LALLEMANT et al. (1996): Fluid flow in and around a mud volcano field seaward of the Barbados accretionary wedge: Results from Manon Cruise. *Journal of Geophysical Research*, 101 (B9): 20.297 - 20.323.
- JUNIPER, S.K. & M. SIBUET (1987): Cold seep benthic communities in Japan subduction zones: spatial organization, trophic strategies and evidence for temporal evolution. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 40: 115 - 126.
- KULM, L. D., E. SUESS, J. C. MOORE et al. (1986): Oregon subduction zone: venting, fauna, and carbonates. *Science*, 231: 561 - 566.
- KULM, L. D. & E. SUESS (1990). Relationship between carbonate ceopits and fluid vent: Oregon accretionary prism. *Journal of Geophysical Research*, 95: 889 - 8915.
- LE PICHON, X., J. P. FOUCHER, J. BOULEGUE et al. (1990): Mud volcano field seaward of the Barbados accretionary complex: A submersible survey. *Journal of Geophysical Research*, 95: 8931 - 8943.
- LE PICHON, X., K. KOBAYASHI et al. (1992): Fluid venting activity within the eastern Nankai Trough accretionary wedge: A summary of the 1989 Kaiko-Nankai results. 109: 303 - 318.
- LINKE, P., E. SUESS, M. TORRES et al. (1994): In situ measurement of fluid flow from cold seeps at active continental margins. *Deep-Sea Res.*, 41(4): 721 - 739.
- McADOO, B. G., D. L. ORANGE, E. A. SILVER et al. (1996): Seafloor structural observations, Costa Rica accretionary prism. *Geophysical Research Letters*, 23(8): 883 - 886.
- MOORE, J. C. & P. VROLIJK (1992): Fluids in accretionary prisms. *Reviews of Geophysics*, 30: 113 - 135.
- ROBERTS, H. H. & P. AHARON (1994): Hydrocarbon-derived carbonate buildups of the northern Gulf of Mexico. *Geo-Marine Letters*, 14: 135 - 148.
- OLU, K., A. DUPRRET, M. SIBUET, J.-P. FOUCHER and A. FIALA-MEDIONI (1996): Structure and distribution of cold seep communities along the Peruvian active margin: relationship to geological and fluid patterns. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 132: 109 - 125.
- SAKAI, H., T. GAMO, Y. OGAWA and J. BOULEGUE (1992): Stable isotopic ratios and origin of the carbonates associated with cold seepage at the eastern Nankai Trough. *Earth and Planetary Science Letters*, 109: 391 - 4404.
- SIBUET, M., S. K. JUNIPER and G. PAUTOT (1988): Cold-seep benthic communities in the Japan subduction zones: Geological control of community development. *J. Mar. Res.*, 46: 333 - 348.
- SUESS, E., B. CARSON, S. D. RITGER et al. (1985): Biological communities at vent sites along the subduction zone of Oregon. *Biol. Soc. Wash. Bull.*, 6: 475 - 484.
- SUESS, E. (1992): FS Sonne. *Fahrtbericht SO 78* Peruvent. Balboa, Panama - Balboa, Panama 28.2.1992-16.4.1992. *GEOMAR Report*, 14: 120.
- SUESS, E. (1994): FS Sonne, *Fahrtbericht SO-97 KODIAK-VENT*. *GEOMAR Report*, 29: 220.
- SUESS, E. & G. BOHRMANN (in Druck): FS Sonne, cruise report SO 110 (SO-RO). *GEOMAR Report*.
- TORRES, M., G. BOHRMANN, E. SUESS and J. BOURGOIS (in Druck): Authigenic barites and fluxes of barium associated with fluid seeps in the Peru subduction zone. *Earth and Planetary Science Letters*.
- von RAD, U., H. RÖSCH, U. BERNER, M. GEYH, V. MARCHIG and H. SCHULZ (in Druck): Authigenic carbonates derived from oxidized methane vented from the Makran accretionary prism off Pakistan. *Marine Geology*.